

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-227958

(P 2 0 0 0 - 2 2 7 9 5 8 A)

(43) 公開日 平成12年8月15日 (2000.8.15)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I		テーマコード (参考)
G06T 1/00		G06F 15/66	470	J 5B057
H04N 1/387		H04N 1/387		5C076

審査請求 有 請求項の数25 O L (全11頁)

(21) 出願番号 特願平11-29034

(22) 出願日 平成11年2月5日 (1999.2.5)

(71) 出願人 000001889

三洋電機株式会社

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号

(72) 発明者 片岡 久典

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三
洋電機株式会社内

(72) 発明者 千葉 直樹

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三
洋電機株式会社内

(74) 代理人 100111383

弁理士 芝野 正雅

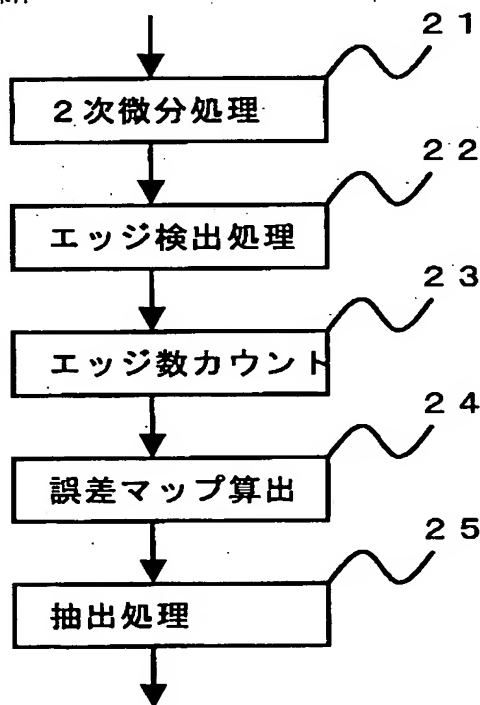
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像の対応領域抽出方法、画像合成方法、画像合成装置、画像合成プログラム、画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体

(57) 【要約】

【課題】 輝度レベルの変化に影響されことなく2枚の画像の対応領域を精度よく抽出することを目的とする。

【解決手段】 2枚の原画像それぞれを2次微分した2次微分画像を求め、2次微分画像間の重なり領域を変化させながら、重なり領域における少なくとも一方の2次微分画像のエッジ数を算出するとともに、重なり領域における2次微分画像間の誤差に基づいて誤差マップを求め、求めたエッジ数と誤差マップとに基づいて原画像間の対応領域を抽出する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2 枚の原画像それぞれを 2 次微分した 2 次微分画像を求め、該 2 次微分画像に基づいて前記原画像間の対応領域を抽出する画像の対応領域抽出方法。

【請求項 2】 前記 2 次微分画像間の重なり領域を変化させながら、重なり領域における少なくとも一方の 2 次微分画像のエッジ数を算出するとともに、重なり領域における 2 次微分画像間の誤差に基づいて誤差マップを求め、前記エッジ数と前記誤差マップとに基づいて原画像間の対応領域を抽出する画像の対応領域抽出方法。

【請求項 3】 前記エッジ数が所定値以上であり、且つ、前記誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 2 記載の画像の対応領域抽出方法。

【請求項 4】 前記エッジ数が所定値以上であり、且つ、前記誤差マップが極小値をとり、且つ、前記誤差マップの極小値における 2 次微分値が最大となる 2 次微分画像の重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 2 記載の画像の対応領域抽出方法。

【請求項 5】 前期エッジ数が前期原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、前記誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 2 記載の画像の対応領域抽出方法。

【請求項 6】 前期エッジ数が前期原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、前期誤差マップの極小値における 2 次微分値が最大となる 2 次微分画像の重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 2 記載の画像の対応領域抽出方法。

【請求項 7】 第 1 原画像と第 2 原画像それぞれを 2 次微分した 2 次微分画像を求め、該 2 次微分画像に基づいて前記原画像間の対応領域を抽出する第 1 ステップ、該対応領域における両原画像間の関係式を算出する第 2 ステップ、該関係式に基づいて第 1 原画像または第 2 原画像を変換して両原画像を合成する第 3 ステップを備えた画像合成方法。

【請求項 8】 前記第 1 ステップは、前記各原画像を 2 次微分した 2 次微分画像を算出するステップ、両 2 次微分画像間の重なり領域を変化させながら、重なり領域における少なくとも一方の 2 次微分画像のエッジ数を算出するとともに、重なり領域における両 2 次微分画像間の誤差に基づいて誤差マップを求めるステップ、前記エッジ数と前記誤差マップとに基づいて両原画像間の対応領域を抽出するステップを備えた請求項 7 記載の画像合成方法。

【請求項 9】 前記エッジ数が所定値以上であり、且つ、前記誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出

し、該重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 8 記載の画像合成方法。

【請求項 10】 前記エッジ数が所定値以上であり、且つ、前記誤差マップが極小値をとり、且つ、前記誤差マップの極小値における 2 次微分値が最大となる 2 次微分画像の重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 8 記載の画像合成方法。

【請求項 11】 前期エッジ数が前期原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、前記誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 8 記載の画像合成方法。

【請求項 12】 前期エッジ数が前期原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、前期誤差マップの極小値における 2 次微分値が最大となる 2 次微分画像の重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 8 記載の画像合成方法。

【請求項 13】 第 1 原画像と第 2 原画像それぞれを 2 次微分した 2 次微分画像を求め、該 2 次微分画像に基づいて前記原画像間の対応領域を抽出する第 1 手段、該対応領域における両原画像間の関係式を算出する第 2 手段、該関係式に基づいて第 1 原画像または第 2 原画像を変換して両原画像を合成する第 3 手段を備えた画像合成装置。

【請求項 14】 前記第 1 手段は、前記各原画像を 2 次微分した 2 次微分画像を算出する手段、両 2 次微分画像間の重なり領域を変化させながら、重なり領域における少なくとも一方の 2 次微分画像のエッジ数を算出するとともに、重なり領域における両 2 次微分画像間の誤差に基づいて誤差マップを求める手段、前記エッジ数と前記誤差マップとに基づいて両原画像間の対応領域を抽出する手段を備えた請求項 13 記載の画像合成装置。

【請求項 15】 前記エッジ数が所定値以上であり、且つ、前記誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 14 記載の画像合成装置。

【請求項 16】 前記エッジ数が所定値以上であり、且つ、前記誤差マップが極小値をとり、且つ、前記誤差マップの極小値における 2 次微分値が最大となる 2 次微分画像の重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 14 記載の画像合成装置。

【請求項 17】 前期エッジ数が前期原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、前記誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 14 記載の画像合成装置。

【請求項 18】 前期エッジ数が前期原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、前期誤差マップの極小値における 2 次微分値が最大となる 2 次微分画像の重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 14 記載の画像合成装置。

【請求項 19】 第 1 原画像と第 2 原画像それぞれを 2 次微分した 2 次微分画像を求め、該 2 次微分画像に基づいて前記原画像間の対応領域を抽出する第 1 ステップ、該対応領域における両原画像間の関係式を算出する第 2 ステップ、該関係式に基づいて第 1 原画像または第 2 原画像を変換して両原画像を合成する第 3 ステップを備えた画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 20】 前記第 1 ステップは、前記各原画像を 2 次微分した 2 次微分画像を算出するステップ、両 2 次微分画像間の重なり領域を変化させながら、重なり領域における少なくとも一方の 2 次微分画像のエッジ数を算出するとともに、重なり領域における両 2 次微分画像間の誤差に基づいて誤差マップを求めるステップ、前記エッジ数と前記誤差マップとに基づいて両原画像間の対応領域を抽出するステップを備えた請求項 19 記載の画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 21】 前記エッジ数が所定値以上であり、且つ、前記誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 20 記載の画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 22】 前記エッジ数が所定値以上であり、且つ、前記誤差マップが極小値をとり、且つ、前記誤差マップの極小値における 2 次微分値が最大となる 2 次微分画像の重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 20 記載の画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 23】 前期エッジ数が前期原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、前記誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 20 記載の画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 24】 前期エッジ数が前期原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、前期誤差マップの極小値における 2 次微分値が最大となる 2 次微分画像の重なり領域を抽出し、該重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出する請求項 24 記載の画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 25】 第 1 原画像と第 2 原画像それぞれを 2 次微分した 2 次微分画像を求め、該 2 次微分画像に基づいて前記原画像間の対応領域を抽出する第 1 ステップ、該対応領域における両原画像間の関係式を算出する第 2 ステップ、該関係式に基づいて第 1 原画像または第 2 原画像を変換して両原画像を合成する第 3 ステップを備えた画像合成プログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像の対応領域抽出方法、画像合成方法、画像合成装置、画像合成プログラム、画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から複数の画像を貼り合わせて、視野が広く解像度の高い画像を継目が目立たないように合成する技術（イメージモザイク）が活発に研究されている。古典的な応用には、航空写真、衛星写真の合成がある。最近では、複数枚のデジタル画像から継目のないパノラマ画像を合成し、臨場感の高い仮想現実環境は構築する手法が注目されている。

【0003】パノラマ画像を合成する技術としては、カメラを移動させて複数枚の画像を予め撮像しておき、得られた複数枚の画像のうち互に対応する領域（対応領域）を有する 2 枚をユーザが選択した後、その共通の領域が重なるように 2 枚の画像を合成する種々の方法が提案されている。

【0004】そして、この 2 枚の画像における共通の領域をコンピュータ等を用いて自動的に抽出する方法として、一般に SSD 法 (Sum of Square Difference) という手法が用いられている。

【0005】この SSD 法は、まず、ユーザによって指定された 2 枚の画像をパソコン内のメモリに読み込んだ後、2 枚の画像それぞれについて、原画像もしくはそれより解像度の低い画像 J1、J2 を生成する。この 2 枚の画像 J1、J2 の重なり領域 ω (サイズ: $M \times N$) が、次式 1 に示すように画素あたりの 2 乗誤差 (E) を用いて求められる。すなわち、画像間の移動量 (d) を可能な範囲で変化させ、E が最も小さくなる移動量 (d) を求め、そのときの重なり領域 ω を対応領域として抽出する。

【0006】

【数 1】

$$E(d) = \frac{\sum_{\omega} (J_1(x) - J_2(x+d))^2}{M \times N}$$

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、SSD 法では、原画像もしくはそれより解像度の低い画像を用

いているため、ユーザが指定した2枚の画像について、撮影時における天候や照明等の変化により全体的な明るさ（輝度レベル）が変化した場合には、この輝度レベルの変化による影響を受けて、精度よく対応領域を抽出することができない虞がある。

【0008】また、海や空などエッジの少ない領域では、対応領域が一致していなくてもSSDの計算結果が低くなり、対応領域の抽出を誤ってしまう虞がある。

【0009】そこで、本発明は、輝度レベルの変化やエッジの少ない領域の存在に影響されことなく2枚の画像の対応領域を精度よく抽出することができる画像の対応領域抽出方法、その対応領域抽出方法を用いて画像を合成する画像合成方法、画像合成装置、画像合成プログラム、そのプログラムを記録した記録媒体を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明の画像の対応領域抽出方法は、2枚の原画像それぞれを2次微分した2次微分画像を求め、その2次微分画像に基づいて原画像間の対応領域を抽出するものである。原画像を2次微分した2次微分画像は、各原画像における画素値の変化が強調されたものであり、輝度レベルの影響が取り除かれる。

【0011】また、本発明の画像の対応領域抽出方法は、2次微分画像間の重なり領域を変化させながら、重なり領域における少なくとも一方の2次微分画像のエッジ数を算出するとともに、重なり領域における2次微分画像間の誤差に基づいて誤差マップを求め、エッジ数と誤差マップとに基づいて原画像間の対応領域を抽出するものである。

【0012】具体的には、エッジ数が所定値以上であり、且つ、誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。これにより、所定値よりエッジ数の少ない重なり領域が対応領域として抽出されず、所定値よりエッジ数の多い重なり領域の中から最も誤差の少ない重なり領域が対応領域として抽出される。

【0013】また、具体的には、エッジ数が所定値以上であり、且つ、誤差マップが極小値をとり、且つ、誤差マップの極小値における2次微分値が最大となる2次微分画像の重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。これにより、通常、複数存在する誤差マップの極小値の中から、その前後において最も大きく誤差が変化する重なり領域が対応領域として抽出される。

【0014】また、具体的には、エッジ数が原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領

域として抽出するものである。これにより、原画像に対して所定の割合よりエッジ数の少ない重なり領域が対応領域として抽出されず、所定の割合よりエッジ数の多い重なり領域の中から最も誤差の少ない重なり領域が対応領域として抽出される。

【0015】また、具体的には、エッジ数が原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、誤差マップの極小値における2次微分値が最大となる2次微分画像の重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。これにより、通常、複数存在する誤差マップの極小値の中から、その前後において最も大きく誤差が変化する重なり領域が対応領域として抽出される。

【0016】本発明の画像合成方法は、第1原画像と第2原画像それぞれを2次微分した2次微分画像を求め、その2次微分画像に基づいて原画像間の対応領域を抽出する第1ステップ、その対応領域における両原画像間の関係式を算出する第2ステップ、その関係式に基づいて第1原画像または第2原画像を変換して両原画像を合成する第3ステップを備えたものである。

【0017】第1ステップは、各原画像を2次微分した2次微分画像を算出するステップ、両2次微分画像間の重なり領域を変化させながら、重なり領域における少なくとも一方の2次微分画像のエッジ数を算出するとともに、重なり領域における両2次微分画像間の誤差に基づいて誤差マップを求めるステップ、エッジ数と誤差マップとに基づいて両原画像間の対応領域を抽出するステップを備えたものである。

【0018】具体的には、エッジ数が所定値以上であり、且つ、誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0019】また、具体的には、エッジ数が所定値以上であり、且つ、誤差マップが極小値をとり、且つ、誤差マップの極小値における2次微分値が最大となる2次微分画像の重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0020】また、具体的には、エッジ数が原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0021】また、具体的には、エッジ数が原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、誤差マップが極小値をとり、且つ、誤差マップの極小値における2次微分値が最大となる2次微分画像の重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0022】本発明の画像合成装置は、第1原画像と第2原画像それぞれを2次微分した2次微分画像を求め、その2次微分画像に基づいて原画像間の対応領域を抽出する第1手段、その対応領域における両原画像間の関係式を算出する第2手段、その関係式に基づいて第1原画像または第2原画像を変換して両原画像を合成する第3手段を備えたものである。

【0023】第1手段は、各原画像を2次微分した2次微分画像を算出する手段、両2次微分画像間の重なり領域を変化させながら、重なり領域における少なくとも一方の2次微分画像のエッジ数を算出するとともに、重なり領域における両2次微分画像間の誤差に基づいて誤差マップを求める手段、エッジ数と誤差マップとに基づいて両原画像間の対応領域を抽出する手段を備えたものである。

【0024】具体的には、エッジ数が所定値以上であり、且つ、誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0025】また、具体的には、エッジ数が所定値以上であり、且つ、誤差マップが極小値をとり、且つ、誤差マップの極小値における2次微分値が最大となる2次微分画像の重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0026】また、具体的には、エッジ数が原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0027】また、具体的には、エッジ数が原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、誤差マップが極小値をとり、且つ、誤差マップの極小値における2次微分値が最大となる2次微分画像の重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0028】本発明の画像合成プログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、第1原画像と第2原画像それぞれを2次微分した2次微分画像を求め、その2次微分画像に基づいて原画像間の対応領域を抽出する第1ステップ、その対応領域における両原画像間の関係式を算出する第2ステップ、その関係式に基づいて第1原画像または第2原画像を変換して両原画像を合成する第3ステップを備えた画像合成プログラムが記録されている。

【0029】第1ステップは、各原画像を2次微分した2次微分画像を算出するステップ、両2次微分画像間の重なり領域を変化させながら、重なり領域における少なくとも一方の2次微分画像のエッジ数を算出するとともに、重なり領域における両2次微分画像間の誤差に基づ

いて誤差マップを求めるステップ、エッジ数と誤差マップとに基づいて両原画像間の対応領域を抽出するステップを備えたものである。

【0030】具体的には、エッジ数が所定値以上であり、且つ、誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0031】また、具体的には、エッジ数が所定値以上であり、且つ、誤差マップが極小値をとり、且つ、誤差マップの極小値における2次微分値が最大となる2次微分画像の重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0032】また、具体的には、エッジ数が原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、誤差マップが最小値をとる重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0033】また、具体的には、エッジ数が原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合以上であり、且つ、誤差マップが極小値をとり、且つ、誤差マップの極小値における2次微分値が最大となる2次微分画像の重なり領域を抽出し、その重なり領域に対応する各原画像の領域を原画像間の対応領域として抽出するものである。

【0034】

【発明の実施の形態】以下、本発明の対応領域抽出方法を用いた画像合成装置の一例を図面に沿って説明する。尚、本実施の形態においては、本実施の形態における画像合成に用いるオブティカルフロー推定方法を説明した後、画像合成装置について説明を行なう。

〔1〕オブティカルフロー推定方法についての説明。

【0035】オブティカルフロー推定方法は、ピラミッド階層型に数段回の解像度の異なる画像を作成して、オブティカルフローを段階的に計算する階層的推定を前提とし、オブティカルフローの計算方法は、Lucas-Kanade法等の勾配法を前提としている。つまり、階層構造化した勾配法によるオブティカルフロー推定法を前提としている。ここでは、勾配法としてLucas-Kanade法を用いる。

【0036】また、オブティカルフロー推定方法においては、階層構造化したLucas-Kanade法によるオブティカルフロー推定法の各段階において得られたオブティカルフローが、膨張処理によって補完される。以下、これについて詳しく説明する。

①Lucas-Kanade法

Lucas-Kanade法の詳細については、文献：B.Lucas and T.Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision," In Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence(IJCAI-81), pp. 674-979, 1981を参照のこ

と。

【0037】以下に、Lucas-Kanade法の概要を述べる。

【0038】ある時刻 t の画像座標 $P=(x, y)$ の濃淡パターン $I(x, y, t)$ が、ある微小時間後(δt)に座標 $(x + \delta x, y + \delta y)$ に、その濃淡分布を一定に保ったまま移動した時、次のオプティカルフロー拘束式2が成り立つ。

【0039】

【数2】

$$\frac{\partial I}{\partial x} \frac{\delta x}{\delta t} + \frac{\partial I}{\partial y} \frac{\delta y}{\delta t} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0$$

2次元画像でオプティカルフロー $\{v = (\delta x / \delta t, \delta y / \delta t) = (u, v)\}$ を計算するには、未知パラメータ数が2個であるので、もう一個拘束式が必要である。LucasとKanade(金出)は、同一物体の局所領域では、同一のオプティカルフローを持つと仮定した。

【0040】例えば、画像上の局所領域 ω 内で、オプティカルフローが一定であるとする、最小化したい濃淡

パターン $I_0(p) = I(x, y, t)$, $I_1(p+v) = I(x+u, y+v, t+\delta t)$

と書き改めると、次式3で定義できる。

【0041】

【数3】

$$E = \sum_{\omega} [I_1(p+v) - I_0(p)]^2$$

ここで、 v が微少な場合には、テーラー展開の2次以上

$$v_{k+1} = v_k + \frac{\sum g_k [I_0 - I_1^k]}{\sum (g_k)^2}$$

ここで、 $I_1^k = I_1(p+v_k)$, $g_k = g(p+v_k)$, $I_0 = I_0(p)$ である。

②階層的推定法

まず、2枚の連続した画像から、予めそれぞれの画像について数段階の解像度の異なる画像を作成する。次に、最も解像度の低い画像間において、おおまかなオプティカルフローを計算する。そして、この結果を参考にし、一段解像度の高い画像間においてより精密なオプティカルフローを計算する。この処理を最も解像度の高い画像間まで順次繰り返す。

【0047】図1(d)は原画像を、図1(c)は図1(d)の原画像より解像度の低い画像を、図1(b)は図1(c)の低解像度画像より解像度の低い画像を、図1(a)は図1(b)の低解像度画像より解像度の低い画像を大きさ(たとえば 13×13 画素)のパッチ毎に求められる。図1(a)～図1(d)において、Sは、1つのパッチを示している。

の項を無視できるので、次式数4の関係が成り立つ。

【0042】

【数4】

$$I_1(p+v) = I_1(p) + g(p)v$$

ここで、 $g(p)$ は、 $I_1(p)$ の一次微分である。

【0043】誤差 E が最小になるのは、 E の v に対する微分値が0の時であるので、次式数5の関係が成り立つ。

10 【0044】

【数5】

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{\partial}{\partial v} E \\ &\approx \frac{\partial}{\partial v} \sum_{\omega} [I_1(p) + g(p)v - I_0(p)]^2 \\ &= \sum_{\omega} 2g(p)[I_1(p) + g(p)v - I_0(p)] \end{aligned}$$

故にオプティカルフロー v は次式数6で求められる。

20 【0045】

【数6】

$$v \approx \frac{\sum_{\omega} g(p)[I_0(p) - I_1(p)]}{\sum_{\omega} g(p)^2}$$

更に、次式数7に示すように、ニュートン・ラフソンの反復演算によって精度良く求めることができる。

【0046】

【数7】

【0048】図1(a)の画像(階層1の画像)、図1(b)の画像(階層2の画像)、図1(c)の画像(階層3の画像)および図1(d)の画像(階層4の画像)の順番で段階的にオプティカルフローが求められる。図1(a)～図1(d)において矢印は、パッチ毎に求められた求められたオプティカルフローベクトルを示している。

(3) 膨張処理による補完

Lucas-Kanade法の長所の一つは、追跡結果が信頼性を持つことである。TomasiとKanadeとは、ある領域の追跡可能性が、以下のように微分画像から算出できることを示した(C.Tomasi and Kanade, "Shape and Motion from Image Streams: a Factorization method-Part 3 Detection and Tracking of Point Features," CMU-CS-91-132, Carnegie Mellon University, 1991.)。

【0049】ある領域画像 ω の垂直・水平方向の微分の2乗を要素に持つ次式数8の 2×2 の係数行列 G から、その固有値を計算することで、そり領域の追跡可能性を決定することができる。

【0050】

【数8】

$$G = \sum_{p \in \omega} g(p)g(p)^T$$

この行列 G の固有値が両方とも大きい場合には、その領域は直交方向に変化を持ち、一意の位置決めが可能である。従って、小さい方の固有値 λ_{\min} と、追跡後の領域間の濃淡残差 E から、追跡結果の信頼度 γ を次式数9によって得ることができる。

【0051】

【数9】

$$\gamma = \frac{\lambda_{\min}}{E}$$

そして、この信頼度を用いて模様（テクスチャ）が少ない領域でも、精度よくオブティカルフローを求める。これは、一段階粗い階層での結果を、追跡の初期値だけに用いて、着目している現段階の階層の結果には何も利用しない。代わりに、テクスチャの少ない領域のオブティカルフローはその周囲のオブティカルフローに近い値を持つと仮定し、モルフォロジー処理によりフロー場を補完するものである。

【0052】図2にフローベクトルの膨張処理の様子を示す。

【0053】左図は、フローベクトルの信頼度のマップを濃淡で表したものである。ここで、黒ければ黒い程信頼度が高いとする。

【0054】まず、得られたフローをしきい値処理する。白い部分は、結果の信頼度が低いために、しきい値処理されたものである。

【0055】次に、2値画像でのモルフォロジー演算による穴埋め処理を模して、フロー場において結果の膨張処理を次のように行う。ある領域 i, j のフローベクトル $u(i, j)$ は、その4近傍のフローベクトルから信頼度 γ に応じて重み付けを行って次式数10のように計算できる。

【0056】

【数10】

$$u(i, j) = \sum_{p, q} \frac{\gamma(i+p, j+q) \times u(i+p, j+q)}{\gamma_A}$$

$$(p, q) = (0, 1), (0, -1), (-1, 0), (1, 0)$$

$$\gamma_A = \sum_{p, q} \gamma(i+p, j+q)$$

この処理を、しきい値処理されたすべての信頼度の低い領域が埋まるまで、繰り返す。この補完処理を、各階層において行う。なお、ある領域 i, j のフローベクトル $u(i, j)$ を、その8近傍のフローベクトルから信頼度 γ に応じて重み付けを行って算出するようにしてもよい。

【0057】図3(a)は、ある階層の画像に対してしきい値処理されたオブティカルフローを示し、図3

(b)は補完後のオブティカルフローを示している。図3(a)において、矢印はしきい値処理によって信頼度が高いと判定されたオブティカルフローベクトルであり、×印は信頼度が低いとされた部分を示している。

〔2〕画像合成装置の説明

図4は、本実施の形態における画像合成装置の構成を示している。

【0058】パーソナルコンピュータ10には、ディスプレイ21、マウス22およびキーボード23が接続されている。パーソナルコンピュータ10は、CPU11、メモリ12、ハードディスク13、CD-ROMのようなリムーバブルディスクのドライバ14を備えている。

【0059】ハードディスク13には、OS（オペレーティングシステム）等の他、画像合成ソフトウェアが格納されている。画像合成ソフトウェアは、それが格納されたCD-ROM20を用いて、ハードディスク13にインストールされる。また、ハードディスク13には、デジタルカメラによって撮像された複数の画像が予め格納されているものとする。

【0060】図5は、パノラマ画像合成ソフトが起動せしめられた場合にCPU11によって行われるパノラマ画像合成処理手順を示している。

【0061】ここでは、説明の便宜上、2枚の画像を合成する場合について説明する。

(I) まず、ユーザによって指定された2枚の画像（第1画像及び第2画像）がメモリ12に読み込まれる（ステップ1）。

(II) 次に、2枚の画像について対応領域の抽出処理が行われる（ステップ2）。この対応領域の抽出処理は、図6に示す手順に従って行われる。

【0062】まず、2枚の画像 $I_{1, \dots, 1}$ 、 $I_{2, \dots, 2}$ それぞれについて、2次微分処理を施した2次微分画像 $I_{1, \dots, 1}$ 、 $I_{2, \dots, 2}$ が生成される。各2次微分画像 $I_{1, \dots, 1}$ 、 $I_{2, \dots, 2}$ では、原画像 $I_{1, \dots, 1}$ 、 $I_{2, \dots, 2}$ におけるエッジに対応する部分の周囲において、画素の値が正負に大きく変化する。（ステップ21）

そして、2次微分画像 $I_{1, \dots, 1}$ 、 $I_{2, \dots, 2}$ を所定の閾値で2値化すると、エッジの周辺部だけが論理値1となり、それ以外の部分は論理値0となる。これにより、エッジの検出が行われる。（ステップ22）

次に、一方の2次微分画像 $I_{1, \dots, 1}$ を他方の2次微分画像 $I_{2, \dots, 2}$ に対して1画素ずつx方向及びy方向に2次元的に移動

させながら、両 2 次微分画像 I_1 、 I_2 が重なる重なり領域 ω (サイズ: $M \times N$) に含まれる各 2 次微分画像 I_1 、 I_2 のエッジ (論理値 1 となる画素) の数 a_1 、 a_2 をカウントする。但し、2 次微分画像 I_2 の移動量を (d) とすると、その移動量 (d) は、両 2 次微分画像 I_1 、 I_2 が重なり領域を持つ範囲内で変化せしめられる。(ステップ 23)

また、エッジ数がカウントされる一方で、各移動量 (d) 毎に重なり領域 ω (サイズ: $M \times N$) における 2 次微分画像 I_1 、 I_2 間の 2 乗誤差 (E) が、次式数 11

【0063】

【数 11】

$$E(d) = \frac{\sum_{\omega} (I_1(x) - I_2(x+d))^2}{M \times N}$$

そして、この誤差 (E) に基づいて、例えば図 9 に示すような誤差マップが得られる。この誤差マップにおける各線分は、重なり領域における誤差値が同一となる移動量に対応する座標を結んだものであり、2 つの線分に挟まれた領域においては、両線分の誤差値の間の値をとる。(ステップ 24)

最後に、各移動量 (d) 毎に求められるエッジ数 a_1 、 a_2 と、誤差マップとに基づいて、以下の条件 Z1 及び Z2 を満たす重なり領域が対応領域として抽出される。

【0064】Z1: 移動量 (d) における 2 次微分画像 I_1 、 I_2 の重なり領域 ω におけるエッジ数 a_1 、 a_2 が、ともに各々の原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合 α 以上であること。

【0065】Z2: 誤差マップにおいて、移動量 (d) における 2 次微分画像 I_1 、 I_2 間の誤差マップが極小値 (図 9 においては、単一の線分で囲まれ、且つ、周囲より誤差値が小さい領域における最小の値) をとり、且つ、その極小値において誤差マップを 2 次微分した値が最大となること。(ステップ 25)

このように、2 次微分画像を用いて原画像の重なり領域を抽出しているため、原画像間における輝度レベルの差の影響がなくなり、精度よく対応領域の抽出を行なうことが可能となる。

【0066】また、対応領域として重なり領域内におけるエッジ数が各々の原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合 α 以上あるものを抽出しているため、海や空などを多く含むエッジの少ない重なり領域が誤って対応領域として抽出されることがなく、信頼性の高い対応領域の抽出を行なうことが可能となる。

【0067】また、合成の対象となる画像やエッジの閾値 α の値によっては、エッジ数の少ない重なり領域において、エッジ数の多い重なり領域より誤差の値が小さくなる場合があるが、ここでは、対応領域となる極小値の

前後において誤差マップの値の変化率 (傾き) がそれ以外の極小値の前後における傾きより大きくなることを利用しているため、更に精度よく対応領域の抽出を行なうことが可能となる。

【0068】尚、ここでは、2 次微分画像を用いて原画像の重なり領域を抽出する際、2 次微分画像間の誤差マップが極小値をとり、且つ、その極小値において誤差マップを 2 次微分した値が最大となる重なり領域を対応領域として抽出する場合について説明したが、2 次微分画像間の誤差マップにおいて最小値をとる重なり領域を対応領域として抽出してもよい。

【0069】また、ここでは、エッジの閾値 α を各々の原画像内にある全エッジ数に対して所定の割合としたが、閾値 α をエッジの個数として固定の値としてもよい。

【0070】また、ここでは、重なり領域におけるエッジ数を合成する 2 枚の画像両方について求めたが、一方の画像について求めてもよい。

(III) 次に、特徴点抽出が行われる (ステップ 3)。つまり、第 1 画像の対応領域から、追跡に有効な複数の部分画像 (矩形領域) が特徴点として抽出される。ただし、各特徴点は互いに重ならないように抽出される。具体的には、上述した信頼度 λ_{\min} の高い部分が特徴点として抽出される。

(IV) 次に、特徴点追跡処理が行われる (ステップ 4)。つまり、抽出された第 1 画像の特徴点の第 2 画像上の位置が追跡される。

【0071】具体的には、まず、【1】で説明したオブティカルフロー推定方法で、適当なサイズ (例えば、 13×13) のパッチ毎のオブティカルフローベクトルが求められる。第 1 画像の特徴点に対応する第 2 画像上の位置は、第 1 画像の特徴点の 4 近傍のパッチのフローベクトルから線形補間により画素単位以下で求められる。(V) 次に、平面射影変換行列が算出される (ステップ 5)。

【0072】対象としているシーンが遠方にある場合や、近くても建物や壁、黒板などの場合には、それらの単一平面と仮定することができる。図 7 に示すように 3 次元空間中の単一平面の点 M を 2 つの異なる視点 C_1 、 C_2 から観察した時、これらの各画像面での座標 m_1 、 m_2 の間の変換は、線形であることが射影幾何学において知られており、homography と呼ばれている (O. Faugeras, "Three-Dimension Computer Vision: a Geometric Viewpoint", MIT press, 1993.)。

【0073】すなわち、画像座標を斉次座標で表した第 1 画像の点 $m_1 = (x_1, y_1, 1)^t$ は、第 2 画像上で対応する点 $m_2 = (x_2, y_2, 1)^t$ を持ち、それらの関係は次式数 12 で定義される。

【0074】

【数 12】

$$m_2 \sim Hm_1 = \begin{pmatrix} h_0 & h_1 & h_2 \\ h_3 & h_4 & h_5 \\ h_6 & h_7 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

ここでは射影的に等しいことを示し、スケール因子を残す。そして、この変換行列は、次式数13のように書き換えることができる。

【0075】

【数13】

$$x_2 = \frac{h_0 x_1 + h_1 y_1 + h_2}{h_6 x_1 + h_7 y_1 + 1}$$

$$y_2 = \frac{h_3 x_1 + h_4 y_1 + h_5}{h_6 x_1 + h_7 y_1 + 1}$$

(VI) 求められた平面射影変換行列に基づいて、2つの画像の位置が合致するように、両画像が重ね合わされた画像が生成される(ステップ6)。

(VII) そして、2つの画像が互いに重なり合っている部分(以下、重合部という)に対して画素値調合が行われる(ステップ7)。つまり、第1画像と第2画像とは、撮影条件が同じでないので、一方に比べて他方が暗い場合がある。そこで、2つの画像の重合部内の注目点の画素値は、2つの画像の重合部の両端からの注目点までの距離に基づいて、注目点の第1画像の画素値および注目点の第2画像の画素値とが調合された値とされる。

【0076】このように、本実施の形態によれば、合成の対象となる画像間の対応領域が精度よく抽出されることに伴って、精度よく画像合成を行なうことが可能となる。

【3】その他の応用例の説明

上記画像合成装置において用いられたパノラマ画像合成ソフトウェアは、単体として商品化することが可能である。また、このパノラマ画像合成プログラムを、デジタルスチルカメラ画像印刷ラボの印刷装置、デジタルカメラ画像出力用のプリンタ、デジタルカメラ、複写機等に組み込むことができる。

【0077】図8は、パノラマ画像合成プログラムが組み込まれたデジタルスチルカメラの構成を示している。

【0078】このデジタルスチルカメラは、通常のデジタルスチルカメラと同様にCCD1、A/D変換器2、映像処理部3、CPU4、ROM5、フラッシュメモリ6、操作部7等を備えた。パノラマ画像合成プログラム

は、ROM5に格納されている。

【0079】操作部7の操作により、パノラマ画像合成プログラムを起動することにより、フラッシュメモリ6に既に取り込まれている複数枚の画像を〔2〕で説明したような方法により合成して、1枚のパノラマ画像を生成する。生成されたパノラマ画像はフラッシュメモリ6に記憶される。

【0080】

【発明の効果】本発明によれば、輝度レベルの変化に影響されことなく2枚の画像の対応領域を精度よく抽出することができる画像の対応領域抽出方法、その対応領域抽出方法を用いて画像を合成する画像合成方法、画像合成装置、画像合成プログラム、そのプログラムを記録した記録媒体を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1は、階層的推定法を説明するための模式図である。

【図2】 図2は、この発明によるオプティカルフロー推定方法において行われる膨張処理を説明するための模式図である。

【図3】 図3は、ある階層の画像に対してしきい値処理されたオプティカルフローの例と、補完後のオプティカルフローを示す模式図である。

【図4】 図4は、パノラマ画像合成装置の構成を示すブロック図である。

【図5】 図5は、パノラマ画像合成処理手順を示すフローチャートである。

【図6】 図6は、図5のフローチャートにおける対応領域抽出の手順を示すフローチャートである。

【図7】 図7は、平面射影行列を説明するための説明図である。

【図8】 図8は、パノラマ画像合成プログラムが組み込まれたデジタルスチルカメラの構成を示すブロック図である。

【図9】 図9は、誤差マップの一例を示すグラフである。

【符号の説明】

10 パーソナルコンピュータ

11 CPU

12 メモリ

13 ハードディスク

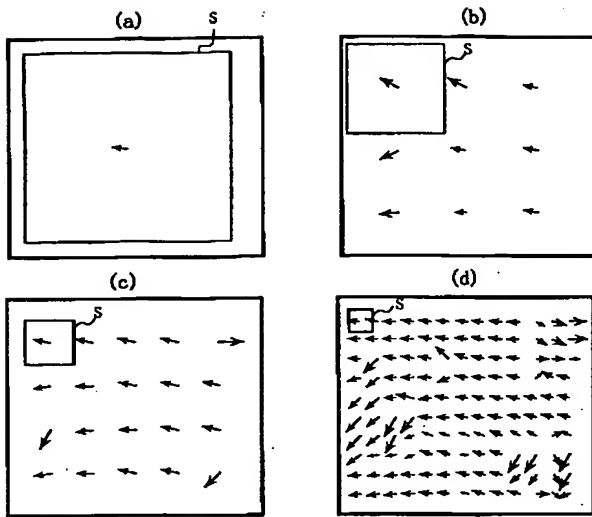
14 リムーバブルディスクのドライバ

21 ディスプレイ

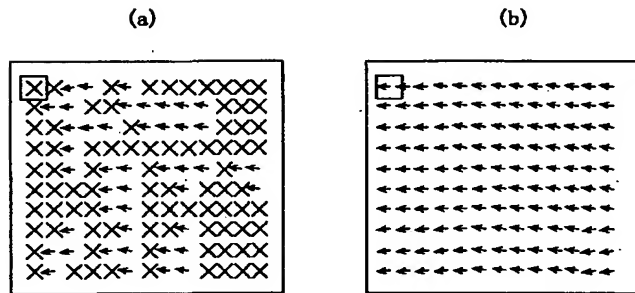
22 マウス

23 キーボード

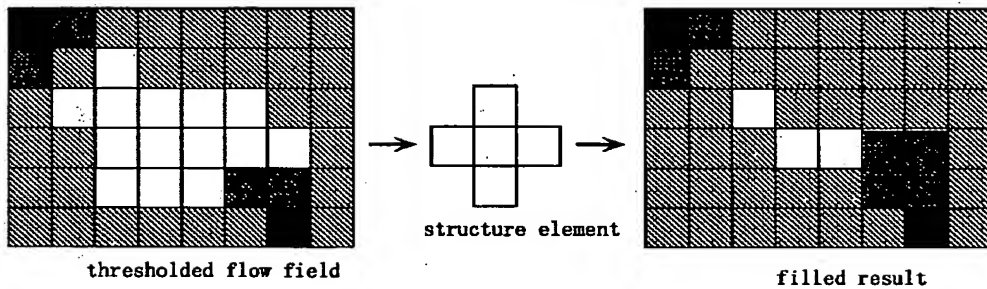
【図 1】



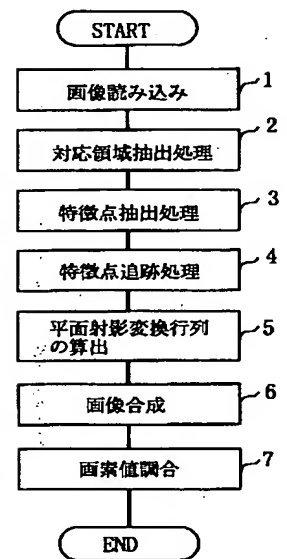
【図 3】



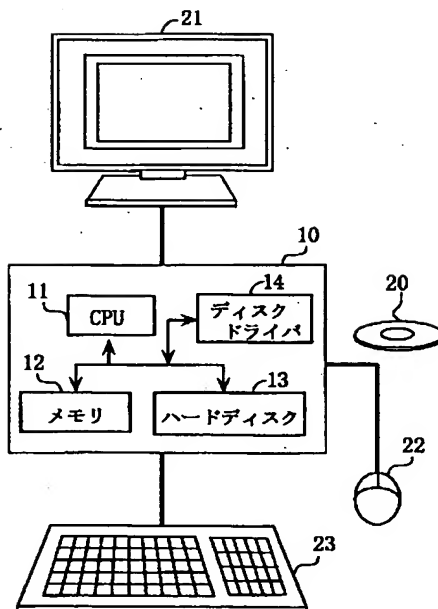
【図 2】



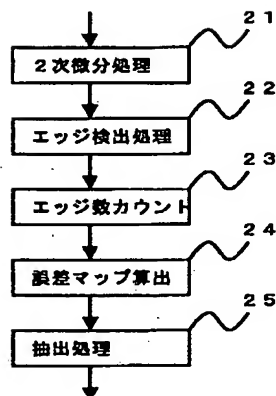
【図 5】



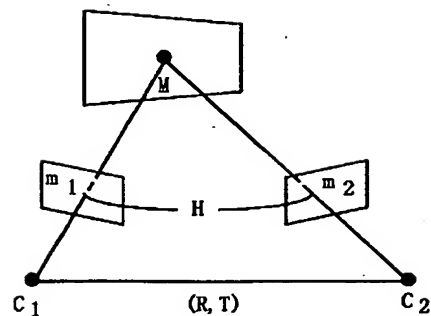
【図 4】



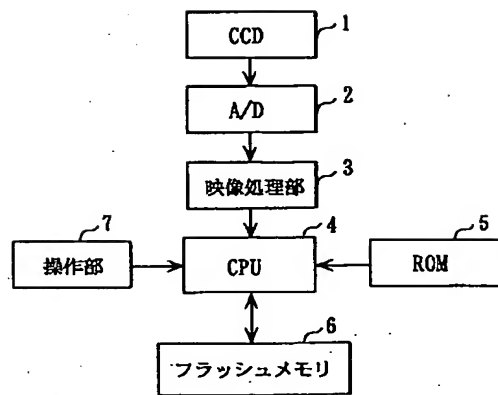
【図 6】



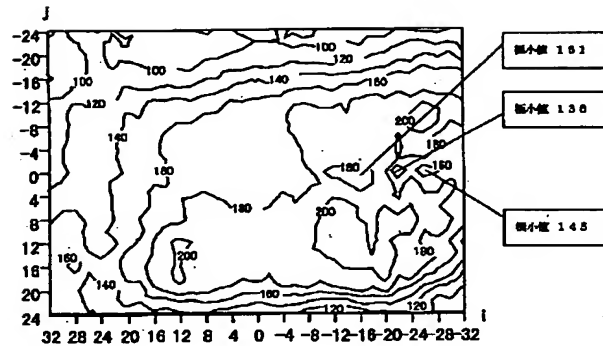
【図 7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 蚊野 浩

大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号 三
洋電機株式会社内

Fターム(参考) 5B057 CA16 CC01 CD02 CD03
CE20 DA08 DA20 DC16 DC30
5C076 AA19